畜禽舍氨气排放规律及对畜禽健康的危害

李 季[1] 王同心[1] 姚卫磊[1] 胡 麟[1] 高 云[2] 黄飞若[1*]

（1.华中农业大学动物科技学院，武汉 430070；2.华中农业大学工学院，武汉 430070）

摘 要：随着畜禽养殖规模的不断增加和集约化养殖方式的快速发展，大量畜禽粪尿集中排放。挥发的氨气（NH_3）不仅对环境造成巨大污染，同时也严重影响畜禽的健康，诱发各种疾病，导致生产性能下降。因此，分析畜禽的氨气排放规律及其对畜禽生产和健康的影响，对控制畜禽舍氨气浓度具有重要意义。本文主要阐述了畜禽舍氨气排放影响因素，以及氨气排放规律；分析了氨气对畜禽健康的影响及其对机体的损伤机理，为规模化畜禽生产提供参考。

关键词：畜禽；氨气；排放规律；损伤机理

中图分类号：S815.9

氨氮排放污染严重制约了我国畜禽养殖的可持续发展。以养猪业为例，猪只能利用饲料中30%~55%的氮，其余大部分以粪尿形式排出，而尿氮中97%的氮是以尿素的形式存在，育肥猪每天排放的氨气（NH_3）约为70 g[1-2]。畜禽养殖产生的氮污染已经超过了单位面积的承载量[3]，根据《"十三五"生态环境保护规划》氨氮排放总量要减少 10%，指示今后养猪生产中将更多注意氮磷排放等影响可持续发展的问题；《全国生猪生产发展规划（2016—2020年）》报告中则提出"十三五"期间生猪规模化养殖需达到52%，而2015年规模化养殖为44%，表明生猪集约化养殖需要提高8个百分点；《2017年中央一号文件》指出稳定生猪生产，优化南方水网地区生猪养殖区域布局，引导产能向环境容量大的地区和玉米主产区转移。集约化养殖规模扩大的同时会增加氨氮排放，给污染防治带来较大压力。

规模化养殖业不仅向外界环境排放大量的粪尿污染物和有害气体，同时畜禽舍内氨气对畜禽生产也会造成危害。仔猪舍氨气浓度不应超过20 mg/kg（GB18407.3），但是实际生产条件下冬季密闭式仔猪舍常常出现氨气浓度超标。成年禽舍内氨气浓度不应超过 15 mg/kg，而实际生产中许多鸡舍出现氨气浓度超标的情况，一些鸡舍氨气浓度可达50 mg/kg[4-5]。因此，了解畜禽舍氨气排放规律以及氨气对畜禽健康的影响对畜禽舍内氨气浓度控制具有重要意义。

1 氨气的排放现状和产生机理

氨气是养殖业产生的有害气体气体之一，畜禽舍产生的有害气体中氨气对养殖业的危害最严重。全球

收稿日期：2017-03-22

基金项目："十三五"国家重点研发计划（2016YFD0500506）；国家自然科学基金面上项目（31572409）；国家重点基础研究计划（2013CB127304）

作者简介：李 季（1993-），男，河南信阳人，硕士研究生，从事氨气对动物健康危害研究。E-mail: 1569418936@qq.com

***通信作者：**黄飞若，教授，博士生导师，E-mail： huangfeiruo@mail.hzau.edu.cn

氨气排量约为 54 亿 t，主要是来源于畜禽粪便和肥料[6]。《中国空气质量管理评估报告 2016》指出，我国近 20 年一直是全球氨气排放量最大的国家，其中来自畜禽养殖和化肥施用的氨气排放占到 80%以上。我国年排放氨气总量约 1 020 万 t，比美国和欧盟的氨气排放总量还要多，随着我国养殖规模的不断扩大，氨气排放有持续上升趋势。

畜禽舍内氨气的产生主要有 2 条途径：畜禽摄入蛋白质后代谢分解产生氨气；畜禽尿氮分解产生氨气。畜舍氨气大部分来源于排泄物中尿素分解，家禽肝脏没有精氨酸酶和氨甲酰磷酸合成酶，因此家禽不能通过肝脏尿素循环把体内代谢产生的氨合成尿素，只能在肝脏和肾脏中合成嘌呤，在黄嘌呤氧化酶的作用下生成尿酸。嘌呤代谢通常在肝脏中进行，嘌呤氧化后变为尿酸[7]。由于家禽消化道较短，食糜在其中停留的时间不长，有很多营养物质不能被充分利用而以粪便的形式排出体外。家禽粪尿中含氮量高达 70%，其中的尿酸和尿素很容易被脲酶分解为氨气[8]。据调查，家禽舍氨气浓度和排放量通常高于畜舍[9]。

2 影响畜禽舍氨气排放量的因素

2.1 畜禽生长阶段

随着畜禽生长阶段的变化，体重越大，采食量和日平均蛋白质的摄入量也越多，畜禽机体代谢产生的尿酸、尿素越多，氨气排放量随之增加。Hayes 等[10]监测了从哺乳仔猪到育肥猪各生长阶段的氨气排放，育肥猪舍平均每头猪氨气排放量为 11.3~11.9 g/d，而保育猪的平均氨气排放量为 1.1~1.7 g/d。肉鸡氨气排放与日龄和体重间的线性关系较强，影响肉鸡舍氨气排放的因素中日龄及其体重两因素最为重要[11]。对肉鸡舍氨气浓度和单位动物氨气排放量的调查发现，1 和 23 日龄肉鸡的单位氨气排放量差异达 0.92 g[12]。不同生长阶段畜禽的氨气排放差异较大不仅是因为体重和采食量的变化，饲粮营养成分差异和畜禽舍建筑结构也会影响舍内氨气排放量。

2.2 畜禽舍结构

有研究分别监控 3 种类型鸡舍的内环境参数，发现超大型密闭鸡舍内氨气浓度约为普通密闭鸡舍和开放型鸡舍氨气浓度 2 倍，其原因可能是超大型密闭鸡舍长轴过长，从而减小了长轴方向通风速率，导致氨气等有害气体不能有效排出[13]。畜禽舍的通风状况会直接影响舍内氨气排放量，空气流速增加会加快尿素分解，增加氨气排放[14]。据报道，通风速率变为原来的 5 倍，NH_3 排放速率增加 2 倍，这是因为空气流速增加导致粪尿的表面气体交换加快[15]。值得注意的是，虽然空气流速增加会导致尿素分解加快、氨气排放量增加，但空气流动的物理因素导致畜禽舍氨气浓度降低，因此空气流速增加虽然会导致氨气排放量增加，但畜禽舍氨气浓度却显著降低[2]。

研究发现，地板的材质会显著影响猪舍氨气排放量，用金属或塑料漏缝地板替代混凝土地板可以将减少氨气排放 10%~40%[16]。原因可能是混凝土表面相对于金属和塑料材质更粗糙，粪尿黏附在其表面会增加尿素分解面积，而且相对光滑的塑料材质，混凝土表面黏附的粪尿更不容易冲洗，这样就会增加粪尿在漏

缝部分的残留，导致舍内氨气排放增加。漏缝地板的面积也会影响氨气排放，据报道，用部分漏缝地板（37%的漏缝面积）代替全漏缝地板，氨气排放量减少约 40%，漏缝地板的面积从总面积的 50%降低到 25%，每头育肥猪的日平均氨气排放量从 6.4 g 降至 5.7 g[17]。漏缝地板的面积增加导致粪尿和板条之间的接触面增加，而相对于实心地面，粪尿黏附在漏缝地板上的面积更大，因此增加了氨气排放。同时漏缝地板面积扩大会增加漏缝下方的排粪沟宽度，增加尿素反应面积，导致氨气排放增加。

2.3　温度

温度影响氨气排放主要是通过影响粪尿中的脲酶活性。研究发现，温度升高，脲酶活性增强，且 90 ℃以下脲酶仍然保持较高活性，因此畜禽舍内温度升高会导致排泄物中的脲酶活性增强，尿素分解加快，氨气排放量增加[18-19]。据报道猪舍高温时间段（13:00—17:00）的氨气排放量占全天氨排放量的 33%[20]。堆肥过程中随着粪堆内部温度升高，在 14~28 d 时堆粪内部温度达 60 ℃以上，氨气排放量最大[21]。夏季温度较高，因此畜禽舍要保持通风，以减少氨气及其他有害气体浓度。

2.4　饲粮中的营养成分

适当降低畜禽饲粮中粗蛋白质含量，添加必需氨基酸不仅能提高畜禽生长性能，还可以显著降低畜禽排泄物氨气排放（表 1[22-31]）。研究发现，猪饲粮粗蛋白质含量下降 1%可以减少氨气排放 10%~13%，粗蛋白质含量从 20%下降到 12%时，猪舍氨气排放量减少 63%[32-33]。饲粮粗蛋白质含量减少导致畜禽排泄物中的尿素和尿酸含量随之降低，且畜禽血液中的尿素氮含量相应降低，通过血液循环产生的尿氮减少，进而降低氨气排放量[24,29]。

饲粮中纤维水平会影响畜禽氨气排放，研究发现膳食纤维在畜禽大肠中发酵有利于肠道微生物区系健康。盲肠中的部分微生物能分解纤维素产生丙酸、丁酸等短链脂肪酸，这会降低家畜盲肠和粪便的 pH，从而抑制脲酶活性，减少 NH_3 排放[34]。此外，大肠有益菌的生长也会促进微生物对蛋白质的吸收利用，进而减少蛋白质的排出和浪费，降低了粪氮的排泄[2]。蛋鸡饲粮中加入玉米酒糟，粗纤维含量升高 2.47%，蛋鸡 1 周内的氨气排放总量下降 48%[35]。

表 1　降低饲粮粗蛋白质水平、平衡氨基酸对畜禽氨氮排放影响

Table 1　Effects of decreasing crude protein level and balancing amino acids on nitrogen and ammonia emissions

饲料类型 Feed type	粗蛋白质降低水平 Crude protein reduced level/%	畜禽种类 Livestock type	添加氨基酸 Supplied amino acids	生产性能 Growth performance	NH_3、尿氮排放 Ammonia nitrogen and urinary nitrogen emissions	参考文献 References
玉米杂粕型 Corn-miscellaneous meal	3（15.03 vs.12.03）	生长猪	赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、色氨酸	NS	NH_3 排放↓	[22]

小麦豆粕型 Wheat-soybean meal	3（15 vs. 12）	育肥猪	赖氨酸、半胱氨酸、异亮氨酸、组氨酸、缬氨酸		NH_3 排放↓	[23]
玉米豆粕型 Corn-soybean meal	5.2（18.7 vs. 13.5）	断奶至育肥猪	赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、色氨酸、缬氨酸		NH_3 排放↓	[24]
玉米豆粕型 Corn-soybean meal	2.82（18.11 vs. 15.29）	生长猪	赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、半胱氨酸	NS	NS	[25]
玉米豆粕型 Corn-soybean meal	3.4（18.2 vs. 14.8）	生长猪	赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、色氨酸	NS	尿氮排放↓	[26]
玉米豆粕型 Corn-soybean meal	2（19 vs. 17）	肉鸡	甘氨酸、谷氨酸	NS	尿酸排放↓	[27]
玉米豆粕型 Corn-soybean meal	1.6（20.4 vs. 18.8）	21~24 日龄肉鸡	色氨酸、苏氨酸	NS	尿氮排放↓	[28]
玉米豆粕型 Corn-soybean meal	2（17 vs. 15）	24 周龄蛋鸡	赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、色氨酸、半胱氨酸	NS	尿氮排放↓	[29]
玉米豆粕型 Corn-soybean meal	1.98（21.88 vs. 19.90）	18 周龄蛋鸡	赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、半胱氨酸	NS	NS	[30]
玉米豆粕型 Corn-soybean meal	2.0（18 vs. 16）	21~34 周龄蛋鸡	赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、色氨酸、缬氨酸	NS	尿酸含量↓	[31]

↑表示上升，↓表示下降，NS 表示无显著影响。下表同。

↑ means increase， ↓ means decrease， NS means no significant effects. The same as below.

2.5 饲料添加剂

饲料添加剂减少畜禽舍氨气排放主要是通过抑制脲酶活性、物理吸附和增加畜禽蛋白质利用率等措施减排。在饲粮中添加丝兰属等植物提取物可以抑制粪尿中脲酶活性，丝兰提取物的作用可能与其中的皂苷有关，有人认为皂苷可以抑制脲酶活性并能与氨气化学结合，从而减少氨气排放。研究报道，哺乳母猪饲粮中添加 125 mg/kg 丝兰提取物能显著降低猪舍内氨气浓度[36]。物理方法减少氨气排放则是通过在饲料中添加天然或人工合成吸附材料（活性炭、斜发沸石、改性氧化铝），这些吸附材料的特点是多孔隙，能有效吸附小分子气体。22~42 日龄肉鸡饲粮中添加 5%沸石可以减少约 50%氨气排放[37]。添加益生菌可以改善畜禽肠道微生物区系，提高有益菌数量、增加菌体蛋白利用率，减少粪氮排出，从而减少粪尿氨气排放。育成猪饲粮中添加 0.05%的乳酸菌和酵母菌能减少氨气浓度 4.02~6.00 mg/L[36]。

2.6 清粪方式和频率

粪尿是畜禽舍氨气排放的主要来源，畜禽粪尿的清理方式会影响舍内氨气浓度。研究表明猪舍水泡粪比人工干清粪的氨气浓度高 9.97%[38]；羊舍采用人工清粪和刮粪板自动清粪，发现刮粪板自动清粪在冬夏 2 季对羊舍中的氨气浓度都有显著降低，而且刮粪板自动清粪对地面清洁度有很好的改善。提高清粪频率对舍内氨气浓度控制尤为重要，随着粪尿堆放时间延长不仅会滋生大量有害微生物，而且会明显增加氨气浓度。粪尿堆积过程中内部温度升高，会导致脲酶活性增加，氨气排放增加[39]。据报道，每周清粪 1 次和清

粪 2 次比深坑自然积粪减少氨气排放 52%和 63%[40]。

了解氨气排放规律和影响畜禽氨气排放因素，对控制畜禽舍氨气浓度有重要意义。主要可以从氨气的来源和去路 2 个方面减少畜禽舍氨气排放，减少氨气产生包括营养措施降低粪氮和尿氮排出。控制粪尿中尿素分解产生的氨气，可以在饲粮中添加丝兰提取物或脲酶抑制剂、降低粪尿 pH 等措施抑制脲酶活性，从而减少氨气产生。在饲粮和粪尿中加入各种吸附剂除去一部分氨气，同时注意保持畜禽舍良好通风、改进清粪工艺、及时清粪也是比较常见的降低舍内氨气浓度的措施。随着养殖业环境健康的提倡，营养措施减少氨气排放在未来养殖业的发展中会有越来越广泛的应用。

3 氨气浓度对畜禽的影响

3.1 动物福利

畜禽长时间暴露在氨气中会出现一些异常行为。畜禽对氨气的刺激具有本能的逃避性，通过 10 d 仔猪氨气暴露试验发现 2/3 的仔猪都会逃避氨气浓度为 100 mg/kg 的环境，选择正常环境（氨气浓度为 5~10 mg/kg）[41]。有学者利用呼吸仓研究氨气对肉鸡动物福利的影响，结果表明随着氨气浓度的升高，肉鸡出现跗关节及脚垫感染、跛行、行走不稳等状况的程度加大[42]。氨气会引起肉鸡的眼部异常，高浓度氨气环境中肉鸡会出现用翅膀揉眼睛的行为[43]。在 50 mg/kg 氨气下保育猪血液中巨噬细胞、淋巴细胞数量及皮质酮含量显著增加，这是呼吸应激的一种免疫应答[44]。在 70 mg/kg 氨气下肉鸡血清球蛋白含量和溶菌酶活性降低，溶菌酶主要由巨噬细胞分泌，是动物机体的一种非特异性免疫[45]。因此，氨气会导致畜禽的免疫性能下降，各种病原微生物随之入侵机体，诱发各种呼吸道疾病、导致生产性能下降（表 2[42,44,46-55]）。

表 2 不同氨气浓度对畜禽生产性能和健康的影响

Table 2 The effects of different ammonia concentration on production performance and health of Livestock and poultry

动物种类 Animal type	体重或日龄 Body weight or age	氨气浓度 Ammonia concentration/(mg/kg)	氨气控制 Ammonia control	测定指标与结论 Determination of indicators and conclusions	参考文献 Reference
哺乳仔猪 Suckling piglet	7 日龄	5、10、15、25、35、50	环境控制室	10 mg/kg 氨气下，猪萎缩性鼻炎最严重，呼吸道黏膜损伤	[46]
断奶仔猪 Weaned piglet		0、10、20、40	环境控制室	对高浓度氨气环境有逃逸行为	[47]
断奶仔猪 Weaned piglet	10 kg	15~100	猪舍+氨水挥发	氨气浓度 60 mg/kg 时，生长性能↓、萎缩性鼻炎发病率↑	[48]
断奶仔猪 Weaned piglet	29 日龄	0、35、50	环境控制室	35 和 50 mg/kg 氨气导致血液白细胞、淋巴细胞和单核细胞数↑	[44]
断奶仔猪 Weaned piglet	8.4 kg	0、5、10、20、40	环境控制室	呼吸道疾病 NS；40 mg/kg 氨气下，猪膝盖关节出现炎症	[49]
育肥猪 Fattening pig	112 日龄	0、10、25、50	环境控制室	氨气浓度↑，呼吸道 α-溶血性球菌含量↑、机体免疫功能↓	[50]
生长猪		5、20	密闭环境室	生长性能和肝基因的表达 NS	[51]

Growing pig					
生长猪 Growing pig	25 kg	18.6~33.9	猪舍	氨气浓度↑，死亡率、肺炎发病率↑	[52]
肉鸡 Broiler	21 日龄	3、75	环境控制室	75 mg/kg 氨气干扰免疫器官和肠绒毛的发育，生产性能↓，加速肠道组织氧化磷酸化	[53]
肉鸡 Broiler	21 日龄	0、25、50、75	呼吸仓	死亡率、羽毛清洁度 NS；75 mg/kg 跗关节损伤最大	[42]
肉鸡 Broiler	21 日龄	0、75	呼吸仓	75 mg/kg 氨气肉鸡生长性能↓，死亡率↑，炎性因子和黏蛋白分泌↑	[54]
蛋鸡 Laying hen	196 日龄	5、50、100	环境控制室	100 mg/kg 氨气下，蛋鸡采食量↓，产蛋量↓，蛋重↓	[55]

3.2 畜禽呼吸道

氨气浓度过高对畜禽最直接的损伤部位是气管、眼黏膜以及肺组织。氨气对呼吸系统的损坏程度与浓度高低和暴露时间长短有关。当肉鸡舍中氨气达到 20 mg/m^3，持续 6 周会引起肉鸡肺水肿，采食量减少，生长性能降低，并增加各种疾病易感性；氨气浓度达到 70 mg/kg 时，肉仔鸡气管和肺部黏膜纤毛脱落、肺部炎性细胞显著增加[56]。研究发现，75 mg/kg 的高氨环境导致肉鸡气管纤毛变短或缺失，检测发现黏蛋白的表达量上调，而过度分泌黏蛋白会导致气管阻塞，这就解释了为什么舍内高浓度氨气环境下的畜禽会出现咳嗽、喘气等症状。此外，肉鸡气管中肌球蛋白、肌钙蛋白表达量均上调，这些蛋白质在肌肉收缩中发挥重要作用，通过促进细丝滑动和增强肌肉收缩功能来收缩气管，从而减少氨气吸入[54]。

氨气不仅直接危害呼吸道，还会导致畜禽舍内空气中微生物气溶胶浓度升高、各种病原体数量增多。Michiels 等[52]研究氨气浓度对生长猪舍内空气中 PM2.5 含量和生长猪肺组织病变的影响，结果表明随着氨气浓度增加，生长猪死亡率和支原体肺炎的患病率都有显著增加。当猪舍氨气浓度为 15 mg/kg 时，易导致猪感染呼吸道疾病；达到 35 mg/kg 时，开始出现萎缩性鼻炎[48]；Hamilton 等[46]研究氨气对哺乳仔猪的呼吸道发病率影响，设置 5、10、15、25、35、50 mg/kg 的氨气浓度，结果发现 10 mg/kg 氨气浓度引起猪萎缩性鼻炎发病率最高。

3.3 消化系统

氨气作为一种应激源会造成肠道黏膜损伤，同时影响肠道消化酶活性及黏膜上皮养分转运载体，进一步影响畜禽的养分消化率。试验大鼠注射乙酰胺，发现注射组（血氨浓度高）会抑制肠道短链脂肪酸氧化[57]。据报道，75 mg/kg 氨气环境中肉鸡小肠细胞骨架蛋白表达下调，小肠黏膜上皮细胞的形态改变，表现为肠道绒毛的长度变短或缺失、纤毛之间的隐窝加深、生长性能下降。高浓度氨气导致肠道黏膜中与氧化磷酸化和细胞凋亡有关的蛋白上调，触发氧化应激，并干扰肉鸡的免疫功能和小肠黏膜对营养物质的吸收[53]。70 mg/kg 氨气浓度时肉仔鸡十二指肠、空肠、盲肠内容物 pH 极显著增加，随着时间延长氨气对肠道发育的影响加重。pH 是肠道健康的重要指标之一，酸性条件有利于乳酸菌和双歧杆菌等有益菌的繁殖生长，对大

肠杆菌、沙门氏菌等有害微生物有抑制作用。肠道内主要致病菌如大肠杆菌、链球菌、葡萄球菌等，肠道 pH 在 6.5~8.0，而有益菌适宜生存 pH 环境偏酸性，因此高浓度氨不利于肠道微生物区系平衡，反而有利于肠道腐败菌的滋生（图 1[7,44,53-54,56,58]）。

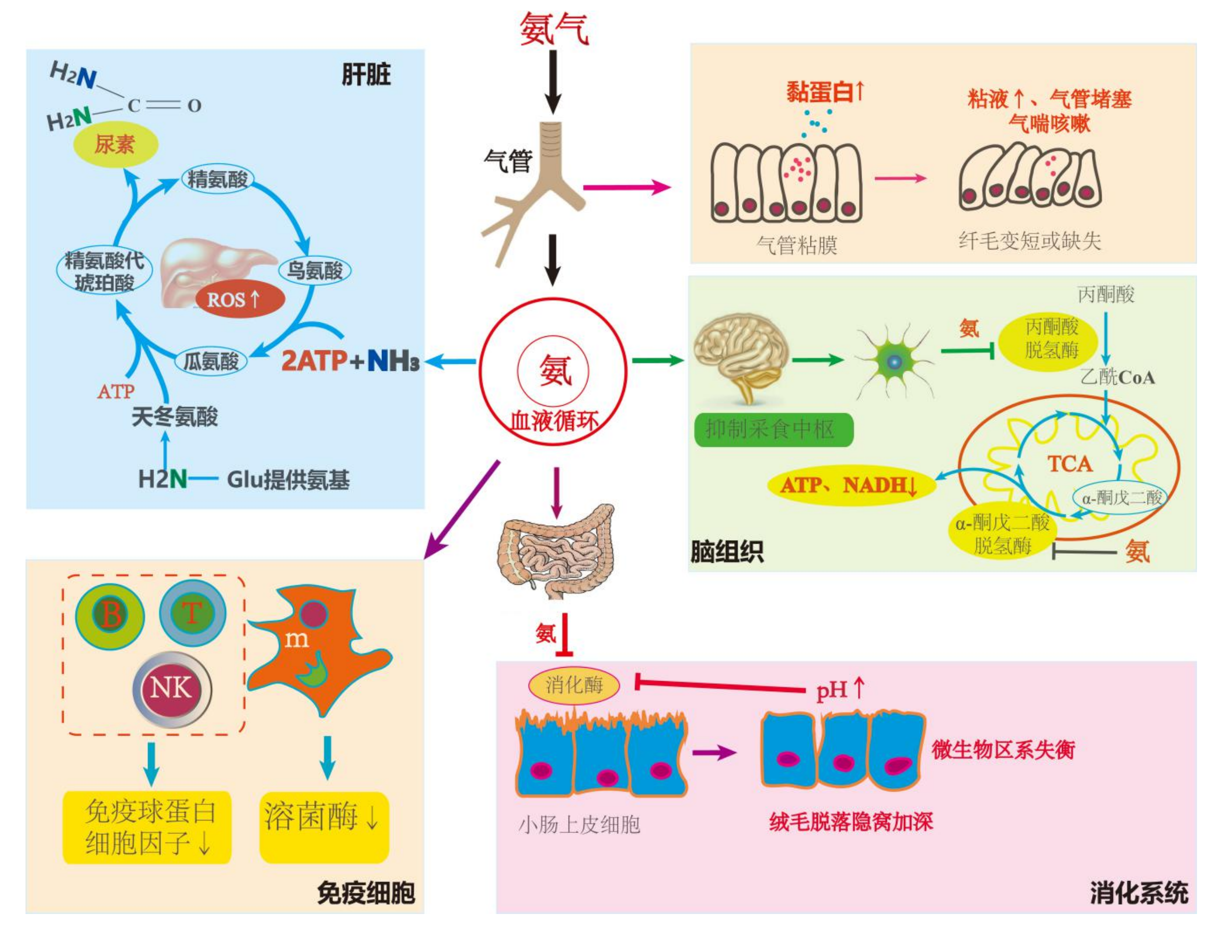
3.4 肝脏组织

氨气可以作为动物机体氨基酸合成的来源之一，同时也可以经氨基酸脱氨产生，氨气作为氨基酸和蛋白质代谢的产物主要在肝脏代谢合成尿素。课题组前期研究发现，随着门静脉血中铵离子（NH_4^+）浓度的升高，进入猪肝脏 NH_4^+浓度增加，由于合成尿素的氮来源于血氨以及氨基酸脱氨提供的氨基，因此门静脉血中 NH_4^+进入肝脏后会加速猪肝脏氨基酸分解代谢，导致尿氮排放增加[59]。此外，氨气和二氧化碳（CO_2）、水结合生成尿素，这个过程消耗的能量约占肝脏消耗总能的 45％[60]，畜禽吸入的氨气过多，会影响整个机体的能量代谢。高血氨导致肝脏负荷加重，容易造成肝脏疲劳及衰竭，增生肥大[61]。氨气同样会减弱肝细胞的抗氧化性能，导致活性氧（reactive oxygen species，ROS）浓度升高[62]。高浓度氨气环境下的肉仔鸡肝脏代谢紊乱，抗氧化性能降低、肝细胞再生能力减弱，甚至可能出现肝硬化[63]。

3.5 神经系统

氨气浓度过高导致一部分氨气进入血液后无法全部转化为 NH_4^+，过量的氨以氨气形式进入脑组织。氨的毒性对脑组织中神经元、小胶质细胞和星形胶质细胞都具有很强的破坏作用，氨气易导致星形胶质细胞的肿胀[64]。氨气在脑组织的主要转运途径是形成谷氨酸和谷氨酰胺，大脑将氨气转化为谷氨酰胺的能力有限，导致大脑氨气和谷氨酰胺升高，大脑功能异常，包括脑积水增多，离子运输和神经递质功能异常[65]。高血氨引起的大脑缺氧或细胞有氧呼吸抑制会导致脑组织乳酸含量增加[66]。肉牛饲喂过量尿素会出现肌肉震颤、瘤胃停滞、心率加快、轻度或严重脱水和抽搐等病理反应[67]。

氨气会抑制三羧酸（TCA）循环中 α-酮戊二酸脱氢酶和丙酮酸脱氢酶的活性，导致星形胶质细胞线粒体中烟酰胺腺嘌呤二核苷酸（NADH）和三磷酸腺苷（ATP）生成减少[58]。5 mmol/L 氯化铵（NH_4Cl）处理大鼠星形胶质细胞，细胞能量代谢和磷酸化功能严重受损，ATP 生成量骤降[68]。氨气导致线粒体通透性转换孔（mPTP）开放程度加大，使其通透性增加，线粒体基质肿胀，氧化磷酸化不完全及 ATP 合成阻断[69-70]。氨气处理培养星形胶质细胞产生活性氮氧化物，导致氧化/亚硝化应激（ONS），氨气诱导的 ONS 与星形胶质细胞体积的增加相关。这种反应的相关机制包括一氧化氮合成增加，部分偶联到 N-甲基-*D*-天冬氨酸受体的活化、通过 NADPH 氧化酶增加 ROS 的产生。ONS 增加和星形细胞肿胀导致谷氨酰胺合成增多，其在线粒体中积累和降解后损害线粒体功能[71]。



ATP：三磷酸腺苷 adenosine triphosphate；NADH：烟酰胺腺嘌呤二核苷酸 reduced form of nicotinamide-adenine dinucleotid；TCA：三羧酸循环 tricarboxylic acid cycle；B：B 淋巴细胞 B lymphocyte；T：T 淋巴细胞 T lymphocyte；NK：自然杀伤细胞 natural killer cell；m：巨噬细胞 macrophage；↑：升高 increase；↓：降低 decrease，⊥：抑制 inhibition。

图 1 氨气对畜禽组织器官及免疫性能的影响

Fig.1 Ammonia effect on organ and immune of livestock and poultry[7,44,53-54,56,58]

4 小 结

氨气对畜禽的危害主要包括直接吸入的氨气对呼吸道的影响和血氨升高对机体的肝脏、神经系统、消化系统和细胞代谢的影响。大多数研究表明，随着氨气浓度的增加，畜禽的生长性能降低、呼吸道损伤程度更加严重。但是氨气浓度对畜禽健康影响的结果并不完全一致，一方面可能与畜禽接触氨气的时间有关；另一方面不同畜禽种类和生长阶段的氨气耐受性也不尽相同。随着动物福利的重视度的加大，氨气对畜禽影响的阈值不断降低，而不局限于影响畜禽的生长性能。因此，综述畜禽氨气排放规律及氨气对畜禽健康的影响机制，将为控制畜禽疾病发生，改善畜禽生长环境提供参考和依据。

参看文献：

[1] LENIS N P,BIKKER P,VAN DER M J,et al.Effect of dietary neutral detergent fiber on ileal digestibility and portal flux of nitrogen and amino acids and on nitrogen utilization in growing pigs[J].Journal of Animal

Science,1996,74(11):2687–2699.

[2] PHILIPPE F X,CABARAUX J F,NICKS B.Ammonia emissions from pig houses:influencing factors and mitigation techniques[J].Agriculture Ecosystems & Environment,2011,141(3/4):245–260.

[3] 杨飞,杨世琦,诸云强,等.中国近 30 年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析[J].农业工程学报,2013,29(5):1–11.

[4] 李如治,包军,刘继军,等.家禽环境卫生学[M].北京:中国农业出版社,2003:74.

[5] 李东卫,卢庆萍,白水莉,等.模拟条件下鸡舍氨气浓度对肉鸡生长性能和日常行为的影响[J].动物营养学报,2012,24(2):322–326.

[6] ASMAN W A H,SUTTON M A,SCHJØRRING J K.Ammonia:emission,atmospheric transport and deposition[J].New Phytologist,1998,139(1):27–48.

[7] 邹思湘.动物生物化学[M].4 版.北京:中国农业出版社,2005:214－223.

[8] DAVID B,MEJDELL C,MICHEL V,et al.Air quality in alternative housing systems may have an impact on laying hen welfare.part Ⅱ-ammonia[J].Animals,2015,5(3):886–896.

[9] KOERKAMP P W G G,METZ J H M,UENK G H,et al.Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe[J].Journal of Agricultural Engineering Research,1998,70(1):79–95.

[10] HAYES E T,CURRAN T P,DODD V A.Odour and ammonia emissions from intensive poultry units in Ireland[J].Bioresource Technology,2006,97(7):933–939.

[11] 孙瑞锋.肉鸡舍氨气挥发规律及控制方法研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2008:32－34.

[12] WHEELER E F,CASEY K D,ZAJACZKOWSKI J S,et al.Ammonia emissions from U.S. poultry houses:part Ⅲ–broiler houses[C]//Agricultural and biosystems engineering conference proceedings and presentations.Raleigh:American Society of Agricultural Engineers,2003.

[13] 张英,王哲鹏,闵育娜,等.冬季不同类型蛋鸡舍环境参数变化特点研究[C]//第十六次全国家禽学术讨论会论文集.扬州:中国畜牧兽医学会,2013.

[14] YE Z,ZHANG G,SEO I H,et al.Airflow characteristics at the surface of manure in a storage pit affected by ventilation rate,floor slat opening,and headspace height.[J].Biosystems Engineering,2009,104(1):97–105.

[15] JEPPSSON K H.SE-structures and environment:diurnal variation in ammonia,carbon dioxide and water vapour emission from an uninsulated,deep litter building for growing/finishing pigs[J].Biosystems Engineering,2002,81(2):213–223.

[16] PEDERSEN S,RAVN P.Characteristics of floors for pig pens:friction,shock absorption,ammonia emission and heat conduction[C]//Agricultural engineering international cigr journal.[S.l.]:[s.n.],2008.

[17] AARNINK A J A,VAN DER BERG A J,KEEN A,et al.Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs[J].Journal of Agricultural Engineering Research,1996,64(4):299–310.

[18] 杨春璐,孙铁珩,和文祥,等.温度对汞抑制土壤脲酶动力学影响研究[J].环境科学,2007,28(2):278–282.

[19] 李素芬,杨丽杰,霍贵成.膨化处理对全脂大豆抗营养因子及营养价值的影响[J].畜牧兽医学报,2001,32(3):193–201.

[20] 代小蓉.集约化猪场 NH_3 的排放系数研究[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2010:2－3.

[21] 江滔,SCHUCHARDT F,李国学,等.冬季堆肥中翻堆和覆盖对温室气体和氨气排放的影响[J].农业工程学报,2011,27(10):212–217.

[22] 黄健,邓红,谢跃伟,等.低蛋白和杂粕日粮对生长猪生产性能、养分消化、血液指标和猪舍氨气的影响[J].饲料工业,2015,36(21):45–47.

[23] LE P D,AARNINK A J A,JONGBLOED A W.Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level[J].Livestock Science,2009,121(2/3):267–274.

[24] LIU S L,NI J Q,RADCLIFFE J S,et al.Mitigation of ammonia emissions from pig production using reduced dietary crude protein with amino acid supplementation[J].Bioresource Technology,2017,233:200–208.

[25] 谢春艳,黎俊,吴信,等.饲粮粗蛋白质水平日变化对生长猪生长性能和血液生理生化指标的影响[J].动物营养学报,2014,26(7):1753–1759.

[26] MONTEIRO A N T R,BERTOL T M,DE OLIVEIRA P A V,et al.The impact of feeding growing-finishing pigs with reduced dietary protein levels on performance,carcass traits,meat quality and environmental impacts[J].Livestock Science,2017,198:162–169.

[27] NAMROUD N F,SHIVAZAD M,ZAGHARI M.Effects of fortifying low crude protein diet with crystalline amino acids on performance,blood ammonia level,and excreta characteristics of broiler chicks[J].Poultry Science,2008,87(11):2250–2258.

[28] FERGUSON N S,GATES R S,TARABA J L,et al.The effect of dietary protein and phosphorus on ammonia concentration and litter composition in broilers[J].Poultry Science,1998,77(8):1085–1093.

[29] MELUZZI A,SIRRI F,TALLARICO N,et al.Nitrogen retention and performance of brown laying hens on diets with different protein content and constant concentration of amino acids and energy[J].British Poultry Science,2001,42(2):213–217.

[30] BURLEY H K,PATTERSON P H,ELLIOT M A.Effect of a reduced crude protein,amino acid-balanced diet on hen performance,production costs,and ammonia emissions in a commercial laying hen flock[J].Journal of

Applied Poultry Research,2013,22(2):217–228.
[31] JI F,FU S Y,REN B,et al.Evaluation of amino-acid supplemented diets varying in protein levels for laying hens[J].Journal of Applied Poultry Research,2014,23(3):384–392.
[32] HANSEN C F,LYNGBYE G S M.Reduced diet crude protein level,benzoic acid and inulin reduced ammonia,but failed to influence odour emission from finishing pigs[J].Livestock Science,2007,109(1/2/3):228–231.
[33] OTTO E R,YOKOYAMA M,HENGEMUEHLE S,et al.Ammonia,volatile fatty acids,phenolics,and odor offensiveness in manure from growing pigs fed diets reduced in protein concentration[J].Journal of Animal Science,2003,81(7):1754–1763.
[34] CLARK O G,MOEHN S,EDEOGU I,et al.Manipulation of dietary protein and nonstarch polysaccharide to control swine manure emissions[J].Journal of Environmental Quality,2005,34(5):1461–1466.
[35] ROBERTS S,BREGENDAHL K,XIN H W,et al.Adding fiber to the diet of laying hens reduces ammonia emission[R].Animal industry report，[S.l.]:[s.n.],2006.
[36] 王俐,张红星,朱鹤岩.益生菌和丝兰提取物降低猪舍有害气体浓度的效果试验[J].饲料工业,2007,28(23):29–31.
[37] 吕东海,王冉,周岩民,等.不同品位沸石在肉鸡生产中的应用效果研究[J].粮食与饲料工业,2003(3):32–34.
[38] 杨亮.两种清粪方式对保育猪生长性能、环境指标以及粪污成分的影响研究[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2013:3－4.
[39] 臧冰,李恕艳,李国学.风干预处理对堆肥腐熟度及臭气排放量的影响[J].农业工程学报,2016,32(S2):247–253.
[40] LIM T T,HEBER A J,NI J Q,et al.Effects of manure removal strategies on odor and gas emissions from swine finishing[J].Transactions of the ASAE,2004,47(6):2041–2050.
[41] SMITH J H,WATHES C M,BALDWIN B A.The preference of pigs for fresh air over ammoniated air[J].Applied Animal Behaviour Science,1996,49(4):417–424.
[42] 孟丽辉,李聪,卢庆萍,等.不同氨气浓度对肉鸡福利的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(8):1574–1580.
[43] MILES D M,MILLER W W,BRANTON S L,et al.Ocular responses to ammonia in broiler chickens[J].Avian Diseases,2006,50(1):45–49.
[44] EVON B,OZPINAR E,ESLINGER A,et al.Acute and prolonged effects of ammonia on hematological variables,stress responses,performance,and behavior of nursery pigs[J].Journal of Swine Health &

Production,2007,15(3):137–145.
[45] WEI F X,HU X F,XU B,et al.Ammonia concentration and relative humidity in poultry houses affect the immune response of broilers.[J].Genetics and Molecular Research Gmr,2015,14(2):3160–3169.
[46] HAMILTON T D,ROE J M,WEBSTER A J.Synergistic role of gaseous ammonia in etiology of Pasteurella multocida-induced atrophic rhinitis in swine[J].Journal of Clinical Microbiology,1996,34(9):2185–2190.
[47] WATHES C M,JONES J B,KRISTENSEN H H,et al.Aversion of pigs and domestic fowl to atmospheric ammonia[J].Transactions of the ASAE,2002,45(5):1605–1610.
[48] 曹进,张峥.封闭猪场内氨气对猪群生产性能的影响及控制试验[J].养猪,2003(4):42–44.
[49] DONE S H,CHENNELLS D J,GRESHAM A C J,et al.Clinical and pathological responses of weaned pigs to atmospheric ammonia and dust[J].Veterinary Record,2005,157(3):71–80.
[50] MURPHY T,CARGILL C,RUTLEY D,et al.Pig-shed air polluted by α-haemolytic cocci and ammonia causes subclinical disease and production losses[J].Veterinary Record,2012,171(5):123.
[51] CHENG Z,O’CONNOR E A,JIA Q,et al.Chronic ammonia exposure does not influence hepatic gene expression in growing pigs[J].Animal,2014,8(2):331–337.
[52] MICHIELS A,PIEPERS S,ULENS T,et al.Impact of particulate matter and ammonia on average daily weight gain,mortality and lung lesions in pigs[J].Preventive Veterinary Medicine,2015,121(1/2):99–107.
[53] ZHANG J Z,LI C,TANG X F,et al.Proteome changes in the small intestinal mucosa of broilers (*Gallus gallus*) induced by high concentrations of atmospheric ammonia[J].Proteome Science,2015,13(1):9.
[54] YAN X,TANG X F,MENG Q S,et al.Differential expression analysis of the broiler tracheal proteins responsible for the immune response and muscle contraction induced by high concentration of ammonia using iTRAQ-coupled 2D LC-MS/MS[J].Science China Life Sciences,2016,59(11):1166–1176.
[55] AMER A H,PINGEL H,HILLIG J,et al.Impact of atmospheric ammonia on laying performance and egg shell strength of hens housed in climatic chambers[J].Archiv fur Geflugelkunde,2004,68(3):120–125.
[56] 魏凤仙.湿度和氨暴露诱导的慢性应激对肉仔鸡生长性能、肉品质、生理机能的影响及其调控机制[D].博士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2012:47－60.
[57] CREMIN J D JR,FITCH M D,FLEMING S E.Glucose alleviates ammonia-induced inhibition of short-chain fatty acid metabolism in rat colonic epithelial cells[J].American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology,2003,285(1):G105–G114.
[58] NAKHOUL N L,ABDULNOUR-NAKHOUL S M,BOULPAEP E L,et al.Substrate specificity of Rhbg:ammonium and methyl ammonium transport[J].American Journal of Physiology Cell

Physiology,2010,299(3):C695–C705.

[59] 包正喜,李鲁鲁,王同心,等.门静脉血氨对猪肝尿素循环和糖异生的影响[J].畜牧兽医学报,2017,48(1):91–98.

[60] LOBLEY G E,CONNELL A,LOMAX M A,et al.Hepatic detoxification of ammonia in the ovine liver:possible consequences for amino acid catabolism[J].British Journal of Nutrition,1995,73(5):667–685.

[61] LIN H,SUI S J,JIAO H C,et al.Impaired development of broiler chickens by stress mimicked by corticosterone exposure[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A Molecular & Integrative Physiology,2006,143(3):400–405.

[62] 邢焕,栾素军,孙永波,等.舍内不同氨气浓度对肉鸡抗氧化性能及肉品质的影响[J].中国农业科学,2015,48(21):4347–4357.

[63] ZHANG J Z,LI C,TANG X F,et al.High concentrations of atmospheric ammonia induce alterations in the hepatic proteome of broilers (*Gallus gallus*):an iTRAQ-based quantitative proteomic analysis[J].PLoS One,2015,10(4):e0123596.

[64] VIJAY G M,HU C,PENG J,et al.Ammonia-induced brain oedema and immune dysfunction is mediated by Toll-like receptor 9 (TLR9)[J].Journal of Hepatology,2016,64(2):S314.

[65] BUTTERWORTH R F.Pathophysiology of brain dysfunction in hyperammonemic syndromes:the many faces of glutamine[J].Molecular Genetics and Metabolism,2014,113(1/2):113–117.

[66] ROSE C,YTREBØ L M,DAVIES N A,et al.Association of reduced extracellular brain ammonia,lactate,and intracranial pressure in pigs with acute liver failure[J].Hepatology,2007,46(6):1883–1892.

[67] ANTONELLI A C,MORI C S,SOARES P,et al.Experimental ammonia poisoning in cattle fed extruded or prilled urea:clinical findings[J].Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science,2004,41(1):67–74.

[68] ALBRECHT J,ZIELIŃSKA M,NORENBERG M D.Glutamine as a mediator of ammonia neurotoxicity:a critical appraisal[J].Biochemical Pharmacology,2010,80(9):1303–1308.

[69] ALVAREZ V M,RAO K V R,BRAHMBHATT M,et al.Interaction between cytokines and ammonia in the mitochondrial permeability transition in cultured astrocytes[J].Journal of Neuroscience Research,2011,89(12):2028–2040.

[70] MALIK S G,IRWANTO K A,OSTROW J D,et al.Effect of bilirubin on cytochrome *c* oxidase activity of mitochondria from mouse brain and liver[J].BMC Research Notes,2010,3(1):162.

[71] SKOWROŃSKA M,ALBRECHT J.Oxidative and nitrosative stress in ammonia neurotoxicity[J].Neurochemistry International,2013,62(5):731–737.

Ammonia Emission Characteristic from Livestock and Poultry House and Its Harm to Livestock and Poultry Health

LI Ji[1] WANG Tongxin[1] YAO Weilei[1] Hu Lin[1] GAO Yun[2] HUANG Feiruo[1*]

（1. *College of Animal Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan* 430070*, China;* 2. *College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan* 430070*, China*）

Abstract: With the increase of scale and development of intensive farming of livestock and poultry industry, abundant of livestock and poultry manure is excreted in centralized way. The volatile ammonia not only severely pollutes the environment, but also seriously harms the health of livestock and poultry, induces many disease and decrease production performance. Therefore, analyzing the characteristics of ammonia emissions and effects on health of livestock and poultry has great importance to the control of ammonia concentration. This article reviewed the factors influencing ammonia emission and emission characteristics; analyzed the effects of the ammonia on health of livestock and poultry, and the damage mechanism, which could be regarded as a reference for application in intensive livestock and poultry production.

Key words: livestock and poultry; ammonia; emission characteristic; damage mechanism

*Corresponding author, professor, E-mail： huangfeiruo@mail.hzau.edu.cn (责任编辑 王智航)